

В статье рассматриваются принципы построения и основные характеристики видеоспектрометров дистанционного зондирования Земли, оснащенных акустооптическими фильтрами, и обсуждаются пути улучшения спектральных характеристик акустооптических фильтров.

УДК 535.241.13

О.В. Ефимова, канд. техн. наук,
Е.Л. Черкашина, канд. физ.-мат. наук

Харьковская национальная
академия городского хозяйства

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ В ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Введение

В последние время достаточно резко возрос интерес исследователей к разработке оптоэлектронной аппаратуры, основанной на принципах изображающей спектрометрии. Подобный класс аппаратуры используется в системах дистанционного зондирования Земли, получения спектральных изображений микрообъектов различной природы и решения ряда медико-биологических задач.

Принципы изображающей спектрометрии реализуются в видеоспектрметрах. На рис.1 изображен принцип реализации видеоспектральной аэросъемки. Показано, что спектры отражения и излучения являются основным признаком состава и состояния объектов земной поверхности. Видеоспектрметры аэрокосмического базирования призваны решать две задачи, во-первых, осуществлять обнаружение искусственных объектов по спектральным признакам, а во-вторых, производить дистанционное зондирование Земли в интересах мониторинга природной среды (исследование минералов, состояние посевов и экологического контроля). Здесь морфологическая информация (информация о форме объекта) не столь полезна как в случае обнаружения искусственных объектов, так как природные образования зачастую не имеют определенной геометрической формы. Например, область загрязненной морской поверхности может иметь достаточно неопределенную форму [1].

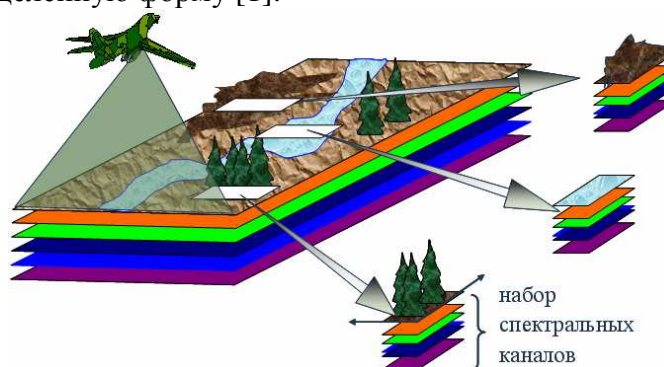


Рис.1. Принцип получения видеоспектральных изображений.

В работе [2] произведен сравнительный анализ оптоэлектронных систем обнаружения, которые используют спектральные либо пространственные признаки объектов. Показано, что при пространственном обнаружении объектов по геометрическим признакам необходимо обеспечить высокое пространственное разрешение системы, что

предполагает большую апертуру приемной части системы и, как правило, приводит к снижению отношения сигнал-шум. При обнаружении объектов по спектральным признакам отсутствует необходимость в высокой разрешающей способности, так как обнаружение по спектральным признакам, возможно, обеспечить при использовании одного элемента разрешения. Поэтому использование спектральных признаков объектов в оптоэлектронных системах обнаружения зачастую оказывается предпочтительнее, чем пространственных.

Видеоспектральная аэросъемка находит применение при оценке продуктивности сельскохозяйственных структур для оценки стресса растений при недостатке влаги, а также при контроле предприятий промышленности и городского хозяйства вызывающих загрязнений окружающей среды [3].

Принцип работы видеоспектрометров

В состав видеоспектрометров входят две системы. Во-первых, оптическая система, которая делит регистрируемую область пространства на набор смежных точек и, во-вторых, изображающий спектрометр, который с использованием диспергирующих устройств делит состав электромагнитное излучение на набор ограниченных спектральных полос, а затем производит измерение энергии в каждой полосе [2]. Принцип работы видеоспектрометра показан на рис.2.

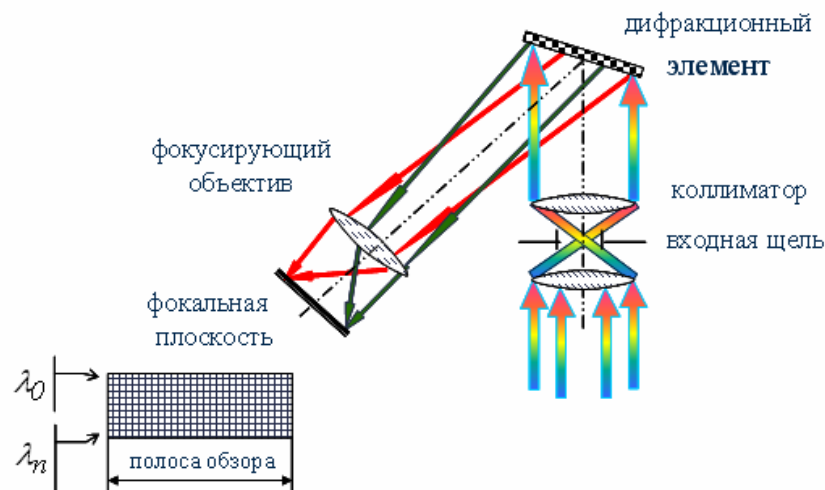


Рис.2. Принцип работы видеоспектрометра.

В результате видеоспектральной съемки формируется многомерное пространственно-спектральное изображение, в котором каждый элементарный участок изображения «пиксел» характеризуется собственным спектром (рис.3). Такое изображение носит название «куба» информации, два измерения которого соответствуют пространственному изображению местности на плоскости, а третье – характеризует спектральные свойства изображения.

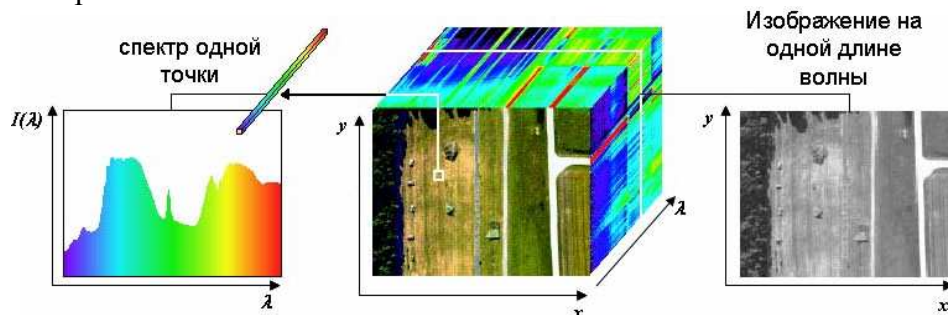


Рис. 3. Изображение участка местности полученное в различных спектральных диапазонах, а также изображении спектра для одной точки и изображение местности в одном спектральном диапазоне.

Анализ известных диспергирующих устройств показал, что акустооптические фильтры обладают высокими динамическими свойствами и способны изменять свою аппаратную функцию в достаточно широких пределах, как по спектру, так и по величине коэффициента преломления путем изменения условий акустооптического взаимодействия [4].

Конструкция акустооптического фильтра изображена на рис.4. Возбудитель ультразвука создает в кристалле парателлурита бегущую ультразвуковую волну (периодическую структуру изменения коэффициента преломления). Известно что в периодических структурах, в том числе основанных на периодических структурах изменения коэффициента преломления, вызванных ультразвуковой волной, могут распространяться световые волны, лежащие в пределах жестко ограниченных спектральных полос пропускания. что определяется числом полупериодов изменения коэффициентов преломления укладывающихся на длине взаимодействия электромагнитной волны с периодической структурой. При неколлинеарном взаимодействии эти условия реализуются при угле Брэгга [5]. Угол Брэгга, как известно, вычисляется из соотношения:

$$\sin \theta_B = -k_0/2k, \quad (1)$$

где k_0 и k – волновые числа ультразвука и света соответственно.

На выходе фильтра изображены два луча нулевого порядка (обыкновенный и необыкновенный) поляризация излучения в которых ортогональна и два луча первого порядка дифракции, угол отклонения которых и спектральный состав определяется частотой ультразвуковой волны.

Обычно акустооптические фильтры для видеоспектрометров строятся на основе кристаллов парателлурита при использовании, которых (при определенных условиях) возможно, обеспечить высокую эффективность дифракции (вплоть до 100%). Подобного класса фильтры работают в диапазоне длин волн от 380 до 3000 нм с разрешающей способностью от 0,4 до 10 нм. Для создания в кристалле ультразвуковой волны используется источник высокочастотных колебаний с выходной мощностью до 1 Вт, работающий в диапазоне частот от 40 до 110 МГц.

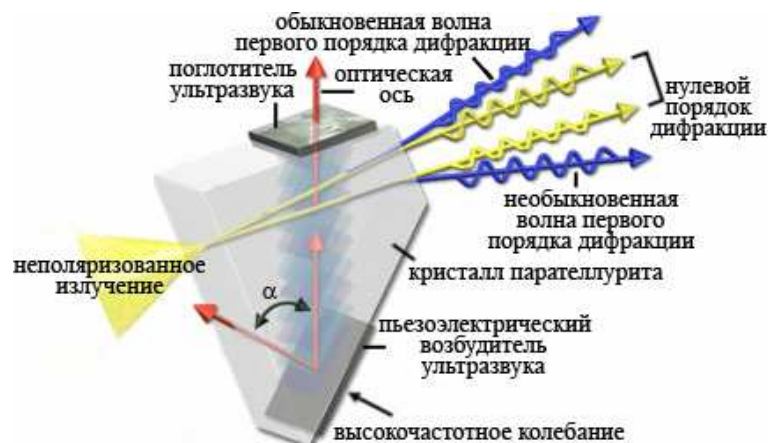


Рис. 4. Конструкция акустооптического фильтра на основе кристалла парателлурита.

Повышение разрешающей способности акустооптических фильтров

Обычно в акустооптических фильтрах используются первый брэгговский резонанс, когда при угле Брэгга максимален первый порядок дифракции. Свойства этих составляющих в зависимости от параметров акустооптического взаимодействия хорошо изучены и используются на практике.

В работах выполненных при участии авторов показано, что путем изменения условий акустооптического взаимодействия, в частности при взаимодействии световой и ультразвуковой волн под углами, кратными углу Брэгга $2\theta_B$, $3\theta_B$ и т.д. максимальной величины достигают составляющие второго и третьего порядков [6–9]. Появление дифракционных составляющих высших порядков обусловлено многократным рассеянием света на объемных периодических структурах, созданных ультразвуковой волной и, следовательно, эти составляющие обладают большей угловой, спектральной и селективностью.

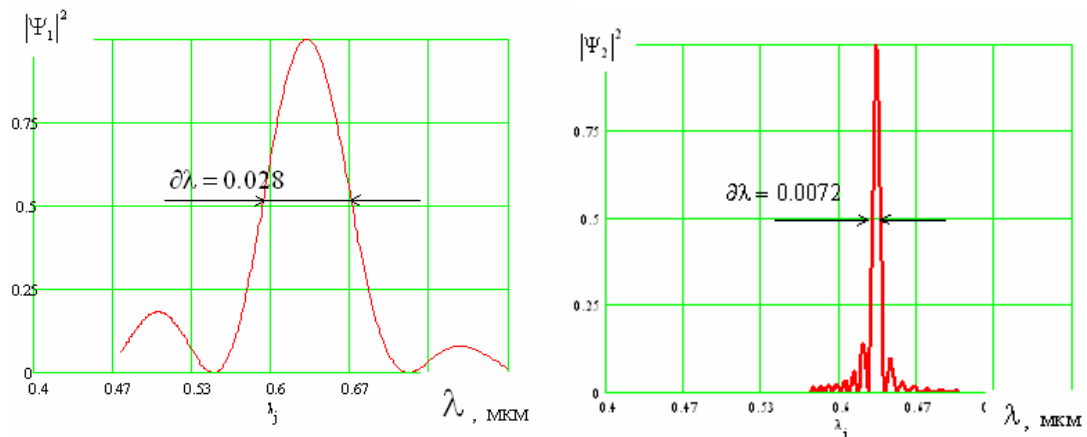


Рис.5. К пояснению селективных свойств брэгговских резонансов первых и вторых порядков. Зависимость дифракционной эффективности пространственных составляющих первых порядков – а) и вторых порядков – б) от длины световой волны.

На рис.5 изображены зависимости дифракционной эффективности для первых а) и вторых б) порядков дифракции соответственно от длины световой волны. В этом случае количество спектральных каналов разрешения увеличивается примерно в 4 раза. Это позволит повысить вероятность правильного обнаружения (распознавания) наблюдаемых объектов. Однако для получения максимальной дифракционной эффективности составляющей второго и последующих порядков дифракции требуется либо большая интенсивность звуковой волны, чем для первого порядка, либо необходимо использовать материалы с лучшим акустооптическим качеством.

Выводы

Таким образом, показано что видеоспектральной аэросъемке принадлежит ведущая роль в развитии методов дистанционного зондирования земной поверхности в интересах экологического контроля.

Многочисленные применения акустооптического взаимодействия в оптической обработке информации и спектрометрии продолжают стимулировать интерес исследователей к дифракции света на ультразвуковой волне. Показано, что свойства пространственных составляющих второго порядков при дифракции света на ультразвуковой волне под двойным углом Брэгга отличаются от свойств пространственных компонент первого порядка при обычной брэгговской дифракции. Это, по-видимому, открывает возможность построения нового класса акустооптических устройств, характеристики

которых отличаются от характеристик приборов, использующих обычную брэгговскую дифракцию.

Литература

1. Купченко Л. Ф., Ефимова О.В., Рыбьяк А.С. Математическая модель устройства спектральной фильтрации изображений, учитывающая оптические свойства атмосферы // Системы обработки інформації. Збірник наукових праць.–Х.: Харківський університет Повітряних Сил.–2007.– Вип. 2(60).– С. 44–47.
2. Колобродов В.Г., Бородийчук П.В., Микитенко В.И. Оптические системы видеоспектрометров дистанционного зондирования Земли // Космична наука і технологія.- 1998.- т.4.- №1.- С.29-38.
3. Шилин Б.В., Хотяков В.В. Видеоспектральная аэросъемка – ведущее направление развития дистанционного зондирования в оптическом диапазоне // Оптический журнал .-2004.- т.71.- №3.- 5558.
4. Корпел А. Акустооптика: Пер. с англ. - М.: Мир, 1993. - 240 с.
5. Ультразвук: маленькая энциклопедия // Под ред. И.П. Голямина. - М.: Сов. энциклопедия, 1978. - 400 с.
6. Купченко Л.Ф., Плахов Ю.М., Ефимова О.В. и др. Дифракционная эффективность второго порядка брэгговской дифракции при взаимодействии света с ультразвуком под двойным углом Брэгга // Радиофизика и радиоастрономия. Т.4, №4, 1999 г. - С. 342–348.
7. Купченко Л.Ф., Плахов Ю.М., Ефимова О.В. и др. Выбор условий акустооптического взаимодействия для процессоров, использующих составляющие второго порядка брэгговской дифракции // Радиофизика и радиоастрономия - Харьков: 2002 г. Т.7, №2, С. 201–207.
8. Купченко Л.Ф. Пашков Д. П., Рыбалка Г.В., Черкашина Е.Л. Информационная селекция изображений в видеоспектрометрах дистанционного зондирования Земли, оснащенных акустооптическими фильтрами // Системы обработки інформації. Збірник наукових праць. –Х.: Харківський університет Повітряних Сил.–2005.– Вип. 8(48).– С. 55–64.
9. Купченко Л.Ф., Коробка А.Г., Черкашина Е.Л., Игнатьев А.В. Акустооптическая фильтрация с использованием дифракции света на ультразвуковой волне под углами, кратными углу Брэгга. Теория и эксперимент// Электромагнитные волны и электронные системы. – Международный научно-технический журнал. М.: Изд.- во. "Радиотехника".–2006. – Т.11, № 2–3, С. 109–126.

АКУСТООПТИЧНІ ФІЛЬТРИ У ВІДЕОСПЕКТРОМЕТРАХ ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

О.В. Єфімова, О.Л. Черкашина

У статті розглядаються принципи побудови і основні характеристики відеоспектрометрів дистанційного зондування Землі, оснащених акустооптичними фільтрами, і обговорюються шляхи покращення спектральних характеристик акустооптичних фільтрів.

OPTICAL-ACOUSTIC FILTERS IN VIDEOSPECTROMETERS FOR EARTHLY SURFACE ECOLOGICAL CONTROL

O.V. Efimova, E.L. Cherkashina

In the article are describe construction principles and main descriptions of videospectrometers for Earth remote sensin, which equip by optical-acoustic filters, and the ways for improvement spectral descriptions of optical-acoustic filters.